

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**Evaluación de rendimiento de cuatro genotipos de maíces tropicales
sometidos a estrés por sequía**

POR:

FELIPE PURA ESPINOZA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL

TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. FELIPE PURA ESPINOZA ELABORADO BAJO LA SUPERVISIÓN
DEL II CUERPO DE ASESORES Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADO POR:

ASESOR PRINCIPAL:


DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

ASESOR:


DR. SAMUEL TRACHSEL

ASESOR:


M.C. JOSÉ LUIS COYAC RODRIGUEZ

ASESOR:


DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

COORDINADOR DE LA DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS


DR. FRANCISCO JAVIER SANCHEZ RAMOS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. FELIPE PURA ESPINOZA SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL
H. JURADO EXAMINADOR Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADO POR:

PRESIDENTE:


DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

VOCAL:


DR. SAMUEL TRACHSEL

VOCAL:



M.C. JOSE LUIS COYAC RODRIGUEZ

VOCAL SUPLENTE:


DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS


DR. FRANCISCO JAVIER SANCHEZ RAMOS


Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

NOVIEMBRE DE 2014

AGRADECIMIENTOS

A mi “Alma Terra Mater”:

Gracias por cobijarme entre sus brazos, formarme como profesionista, por permitirme terminar mis estudios de licenciatura y haber hecho realidad mis sueños, así mismo concluir una etapa tan importante en mi vida.

AlCentro Internacional de Mejoramiento de Maíz y trigo (CIMMYT) por hacer posible la realización de este trabajo de investigación y por la ampliación de mis conocimientos en el cultivo del maíz.

A mis asesores:

Dr. Samuel Trachsel, Dr. Armando Espinoza Banda, por todo el apoyo incondicional brindado, por contribuir con sus conocimientos, por la asesoría y el tiempo, esfuerzo, dedicación y sobre todo por su gran enseñanza, demostrando en todo momento su confianza.

A mis maestros:

Por ser parte fundamental en el proceso de aprendizaje dándome la herramienta esencial para poder enfrentarme a la vida, por transmitirme sus conocimientos durante estos cuatro años y medio vividos en la Universidad.

A todos Ustedes gracias.

INDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	I
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	1
1	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	4
1.2 Hipótesis	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Influencia del cambio climático en la agricultura.....	5
2.2 Genética del maíz.....	6
2.3 Estrés por sequía	8
2.4 El estrés por sequía afecta las características fisiológicas a nivel celular 	10
2.5 Efecto del estrés por sequía en la etapa de floración	15
2.6 Densidad de siembra	12
III. MATERIALES Y METODOS.....	18
3.1 Localización de Tlaltizapán	18
3.2 Materiales Genéticos.....	18
3.3 Diseño experimental	19
3.4 Manejo agronómico	20
3.4.1 Preparación de terreno.....	20
3.4.2 Siembra.....	20
3.4.3 Fertilización.	20
3.4.4 Riego.....	20
3.4.5 Control de plagas.	20

3.4.5 Cosecha.....	21
3.5 Características evaluadas	22
3.5.1 Rendimiento de grano por hectarea.....	22
3.5.2 Días de floración a floración masculina.....	22
3.5.3 Días a floración femenina.....	22
3.5.4 Intervalo entre la floración masculina y femenina.....	IV
3.5.5 Mazorcas por planta.....	22
3.5.6 Altura de planta.....	22
3.5.7 Altura de mazorca.....	23
3.5.8 Rendimiento de Mazorca.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.9 Acame de raíz.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.10 Acame de tallo.....	23
3.5.11 Número de mazorcas por metro cuadrado.....	18
3.5.12 Peso de mazorca.....	18
3.5.13 Mazorcas podridas.....	18
IV. RESULTADOS.....	24
V. DISCUSIÓN	33
VI. CONCLUSIÓN	42
VII. BIBLIOGRAFIA	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Página
4.1 Valores medios de 4 genotipos de maíz evaluados bajo condiciones óptimas de riego.....	27
4.2 Valores medios de 4 genotipos de maíz evaluados bajo condiciones de sequía.....	39
4.3 Coeficiente de correlación fenotípica de 4 genotipos de maíz evaluados bajo condiciones óptimas de riego.....	31
4.4 Coeficiente de correlación fenotípica de 4 genotipos de maíz evaluados bajo condiciones de sequía.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Página
1 Rendimiento de grano en toneladas por hectárea y rendimiento de grano por planta de cuatro genotipos de maíz bajo condiciones óptimas de riego y sequía en tres densidades de siembra.....	28

RESUMEN

En la presente investigación se evaluaron cuatro genotipos probadores de Maíz: LPSC7-C7 F64-2-6-2-2-B-B-B-B-B / CML-312 SR (G1), CML448/CML449 (G2), CML494/CML495 (G3), CML549/CML550 (G4) del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en la estación experimental de CIMMYT ubicado en la localidad de Tlaltizapán, Morelos. Se utilizó un diseño experimental de parcelas subdivididas en tres densidades de siembra; Densidad baja (5 plantasm²), densidad normal (7 plantasm²) y densidad alta (9 plantasm²) bajo condiciones de estrés por sequía y condiciones óptimas de riego, con el propósito de seleccionar los genotipos más sobresalientes en rendimiento, de acuerdo a las diferentes densidades de siembra y a las características evaluadas tales como; Intervalo de Floración Masculina y Femenina (ASI), rendimiento de grano por hectárea (RGtha⁻¹), así como el rendimiento de grano por planta (Rgp), número de mazorcas por planta, pudrición de mazorca (PM), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), acame de raíz (AR), acame de tallo (AT). El análisis de varianza de la prueba de sequía sometido a altas temperaturas reveló efectos significativos: rendimiento de grano por hectárea (RGtha⁻¹), rendimiento de grano por planta (Rgp), El tratamiento de riego afectó significativamente todas las variables, por la incidencia de acame de raíz. Los efectos significativos de la interacción genotipo por la densidad de siembra se encuentra en RGtha⁻¹, Rgp.

Palabras clave: Maíz, genotipos, diseño, parcelas, densidades, condiciones.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays L.*) es el cereal más importante en el mundo por su producción sembrada. Es además, un cultivo económicamente muy importante como alimento, forraje, fibra y combustible; y es usado como ingrediente en una infinidad de productos manufacturados que inciden en la nutrición de la población mundial (Hallauer *et al.*, 2010).

En México, este cultivo es de mayor importancia debido a su historia, tradición y consecuente impacto social y económico; sembrándose 7.2 millones de hectáreas (FAO, 2010). Este país, por su ubicación geográfica y topografía es especialmente vulnerable a los impactos de la variabilidad climática y al cambio climático. Por lo tanto, es importante hacer hincapié que la agricultura en México sufrirá efectos importantes (SIAP, 2007).

El maíz en este país se cultiva principalmente en terrenos de secano con alta frecuencia de sequía. Del total de la superficie sembrada con este cultivo, anualmente se reportan en promedio 1.5 millones de hectáreas siniestradas lo que representa el 19.4% de la superficie sembrada con dicho cultivo, siendo la sequía una de las causas primordiales (SIAP, 2009).

El efecto de la sequía en las plantas, es el déficit hídrico que provoca una serie de respuestas morfológicas, fisiológicas y fenológicas, las cuales pueden tener algún valor adaptativo, y por lo tanto conferir un cierto grado de

tolerancia a esta condición de estrés (Dreesmann *et al.*, 1994; Attipalliet *et al.*, 2004).

La sequía afecta más a este cultivo cuando incide cerca de la floración ya que inhibe el desarrollo floral y provoca fallas en la fertilización y absorción de cigotes (Saini y Westgate, 2000). El rendimiento de grano se reduce más que en otros estadios del crecimiento debido a que la floración es un periodo crítico en la definición del número de granos, principal componente de rendimiento (Cakir, 2004), por lo tanto, en maíz, la sequía reduce el rendimiento de grano como consecuencia del menor número de granos por mazorca y peso del mismo (Stone *et al.*, 2001).

Hernández y Muñoz (1988) mencionaron que el rendimiento de grano, por ser un carácter de herencia compleja (poligénica), es afectado en gran medida por el ambiente, y que existe una pronunciada asociación del rendimiento con respecto al número de mazorcas por planta, tanto en condiciones de riego como de sequía.

Resultados experimentales indican que en condiciones de estrés severo por sequía la reducción del rendimiento en maíz tropical puede llegar hasta 90% (Betrán *et al.*, 1995; Bolaños y Edmeades, 1988, 1991; Lizaso *et al.*, 1996).

Puesto que el efecto de la sequía depende del genotipo, en el presente trabajo se evaluaron cuatro genotipos de Maíz: LPSC7-C7 F64-2-6-2-2-B-B-B-B-B/ CML-312 SR (G1), CML448/CML449 (G2), CML494/CML495 (G3),

CML549/CML550G (4) del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz Y Trigo (CIMMYT), en la estación experimental del CIMMYT ubicado en la localidad de Tlaltizapan, Morelos, con el objetivo de seleccionar los mejores por su adaptación y con base a su potencial de rendimiento.

1.1 Objetivos

Evaluar e identificar genotipos tolerantes a las condiciones de sequía, seleccionando los mejores por su adaptación y con base a su potencial de rendimiento.

1.2 Hipótesis

H0: Existe variabilidad en el comportamiento entre los genotipos de maíz para su resistencia ante condiciones de sequía.

Ha: Las plantas generan mecanismos de tolerancia que permiten adaptarse ante el estrés por sequía.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Influencia del cambio climático en la agricultura

Por su ubicación geográfica, topografía y aspectos socioeconómicos, México es especialmente vulnerable a los impactos de la variabilidad climática y al cambio climático. Por tanto la agricultura en México sufrirá efectos importantes, esto aunado al problema de que muchos de los cultivos se desarrollan fundamentalmente bajo condiciones de temporal (SIAP, 2007).

El fenómeno del cambio climático, caracterizado por el incremento de la concentración de CO₂ y otros gases puede llevar a incrementos en la temperatura y cambios en los regímenes hídricos. Esto puede alterar las condiciones ambientales para el crecimiento de los cultivos. La agricultura es una de las actividades de producción de alimentos más importantes a nivel mundial. Sin embargo un punto importante a considerar frente al calentamiento global es que la agricultura es extremadamente vulnerable a los cambios drásticos del clima. Las variaciones como el aumento de las temperaturas pueden reducir la producción de los cultivos deseados, y causar a la vez la proliferación de plagas. Así mismo los cambios en los regímenes de lluvias aumentan la probabilidad de que las cosechas se arruinen ya sea por sequías pronunciadas o por incrementos en la cantidad de lluvia. Aunque algunos cultivos en ciertas regiones del mundo pudieran beneficiarse, en general se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial (Nelson *et al.*, 2009).

Así mismo, es en los trópicos y sub-trópicos en donde algunos cultivos se aproximan a su nivel máximo de tolerancia de temperatura, además predomina la agricultura de secano no irrigada, por lo que habrá disminución en el rendimiento de la producción debido a temporadas de cosecha más cortas por menor cantidad de lluvia o de lluvias fuera de temporada (IPCC, 2007).

El mejoramiento para resistencia a factores adversos bióticos y abióticos en maíz ha dado como resultado el desarrollo de híbridos más estables adaptados a la mayoría de condiciones de producción. El mejoramiento para adaptación amplia puede proveer la identificación de genotipos cuyo comportamiento sea superior en ambientes pobres y ricos, estos ambientes pueden estar caracterizados por condiciones de estrés. Un cultivar estable bajo estas circunstancias poseerá una baja interacción genotipo por ambiente, un coeficiente de regresión cercano a 1.0 y un alto rendimiento. La importancia que tienen los factores responsables del rendimiento a través de ambientes contrastantes, y la fracción de esos factores específicos es muy relevante para entender la naturaleza de la estabilidad del rendimiento y puede abrir un camino para el desarrollo de criterios de selección adicionales al rendimiento, (Blum, 1988).

2.2 Genética del maíz

El maíz se ha tomado como un cultivo muy estudiado para investigaciones científicas en los estudios de genética. Continuamente se está estudiando su genotipo y por tratarse de una planta monoica aporta gran

información ya que posee una parte materna (femenina) y otra parte paterna (masculina) por lo que se pueden crear varias recombinaciones (cruzas) y crear nuevos híbridos para el mercado.

Los objetivos de estos cruzamientos van encaminados a la obtención de altos rendimientos en producción. Por ello, se seleccionan en masa aquellas plantas que son más resistentes a virosis, condiciones climáticas, plagas y que desarrollen un buen porte para cruzarse con otras plantas de maíz que aporten unas características determinadas de lo que se quiera conseguir como mejora del cultivo. También se seleccionan según la forma de la mazorca de maíz, aquellas que sobre todo posean un elevado contenido de granos sin deformación.

El clima es uno de los factores importantes para la producción de maíz (*Zea mays*) ya que la mayoría de la superficie de este cereal sembrada mundialmente, se hace bajo condiciones de sequía. Por ende, la producción está relacionada significativamente con la distribución y la cantidad de precipitación ocurrida durante el ciclo del cultivo y con la cantidad de radiación interceptada por el cultivo durante su ciclo de desarrollo. Adicionalmente, el peso seco de la parte aérea de la planta de maíz depende de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada por el cultivo, la cual también puede variar con la temperatura (Otegui *et al.*, 1995).

2.3 Estrés por sequía

Las plantas, a lo largo de su vida, se ven sometidas a un gran número de condiciones ambientales adversas, como el déficit de agua en su entorno; y esto no resulta un limitante para su distribución en las diferentes condiciones climáticas de la superficie terrestre. Esta amplia distribución se da gracias a que las plantas cuentan con mecanismos muy eficientes para hacer frente a los factores ambientales adversos (Pérez-Molphe y Ochoa, 1990).

Las plantas cultivadas se ven sometidas a diferentes grados de estrés en alguna etapa de su crecimiento, los cambios generados son una respuesta a la sobrevivencia de la planta misma; el efecto del estrés por sequía generalmente es reflejado en una disminución de la producción y del crecimiento total; esto con respecto al grado de reducción de factores, como la etapa de crecimiento y el agotamiento de agua, así como el tiempo de duración de las condiciones de sequía (Kramer, 1983).

En general, la limitación de agua provoca en las plantas una caída en la presión de turgencia y el cierre estomas para reducir la pérdida de agua en el tejido. Un decremento en el potencial hídrico interno, produce hojas enrolladas, lo que reduce la superficie expuesta, disminuyendo la fotosíntesis y finalmente el crecimiento. Visualmente la limitación hídrica se manifiesta como una reducción en la altura y rendimiento en biomasa. En las etapas reproductivas subsiguientes, una limitación en la disponibilidad de agua resulta en la quema y arrugamiento de las hojas (Hsiao, 1973; Westgate *et al.*, 2004)

Cunha y Bergamishi (1992) señalan que el maíz es un cultivo de rendimientos variables, en función de déficits hídricos causados por variaciones climáticas, cuyo efecto depende de la intensidad, época y duración en la relación al ciclo de crecimiento y desarrollo de la planta. Tanto el crecimiento como el desarrollo y translocación de los fotoasimilados están ligados a la disponibilidad hídrica en el suelo. La falta de agua influye limitando la disponibilidad de CO₂ y los procesos de elongación celular porque disminuye la actividad fotosintética y la turgencia de las hojas afectando la expansión del área foliar, reduciendo la actividad enzimática y la biosíntesis de las proteínas.

La deficiencia de agua en la planta causa un estado patológico general. La fotosíntesis baja al cerrarse los estomas y falta CO₂; también disminuye por disfunción de los cloroplastos que se desintegran causando clorosis, la respiración asciende temporalmente y luego se deprime, las enzimas se desnaturalizan, fallan las nitrato reductasas y luego cesa la síntesis de proteínas, el contenido de ABA se eleva y el de citocininas baja, la falta de turgencia hace cesar el crecimiento, la precocidad aumenta. Estos cambios determinan el rendimiento, aunque la condición de estrés se subsane antes de que sea muy grave. La floración y el llenado de grano son estados críticos, y una sequía en ese momento causa un bajo rendimiento, aunque la sequía no llegue ser muy aguda.

2.4 El estrés por sequía afecta las características fisiológicas a nivel celular

El estrés provocado por la sequía afecta algunas características fisiológicas clave:

- Hay acumulación de ácido abscísico (ABA). Este se genera principalmente en las raíces y estimula su crecimiento. De ahí, pasa a las hojas (y, en mucho menor grado, a los granos), donde provoca enrollamiento, cierra los estomas y acelera la senescencia foliar. Esto sucede aun antes de que los mecanismos hidráulicos reduzcan la turgencia foliar (Zhang *et al.* 1987). Es probable que esta señal, enviada por las raíces, sea la que hace que la planta reduzca las pérdidas de agua. Por tanto, el ABA es un regulador del crecimiento vegetal que ayuda a la planta a sobrevivir al estrés por sequía, pero que no parece contribuir a la producción en condiciones de sequía. Este ácido también pasa al grano, donde contribuye al aborto de los granos de la punta durante el llenado de grano.
- Cuando hay estrés de leve a moderado, la expansión celular se inhibe. A medida que el estrés se intensifica, esto se manifiesta en una menor expansión del área foliar, seguida por un menor crecimiento de los estigmas, un menor alargamiento del tallo y, finalmente, menos crecimiento radicular.
- Cuando hay estrés severo por sequía, la división celular se inhibe de forma tal, que aunque el estrés desaparezca, los órganos afectados no tienen células suficientes para expandirse plenamente.

•Ajuste osmótico: En respuesta al estrés por sequía, la mayoría de las especies son capaces de formar sustancias que son osmóticamente activas en el citoplasma y la vacuola. Esto permite a la planta absorber más agua del suelo y mantener su turgencia y la función celular durante más tiempo cuando hay sequía. El ajuste osmótico es especialmente visible en el sorgo, el trigo y el arroz (el incremento de la negatividad es de 1 a 1.7 MPa), y mucho menos visible en el maíz (de 0.3 a 0.5 MPa) (Bolaños y Edmeades, 1991).

• Cuando el estrés por sequía es severo, con frecuencia se observa acumulación de prolina. La prolina actúa como osmolito y, a medida que se pierde la turgencia, protege las estructuras proteínicas.

• Foto-oxidación de la clorofila: La sequía afecta al fotosistema dos más que al fotosistema 1 en el mecanismo fotosintético. Estos fotosistemas se desacoplan, lo cual causa que haya electrones de alta energía libres en la hoja. El transporte de electrones desacoplados da como resultado foto-oxidación de la clorofila y pérdida de la capacidad fotosintética. Enseguida, por el estrés por sequía, las hojas que están expuestas directamente al sol se tornan amarillentas.

• La actividad enzimática en general se reduce cuando hay sequía. Por ejemplo, la conversión de sacarosa a almidón en el grano se reduce porque disminuye la actividad de la invertasa ácida, una enzima clave que convierte la sacarosa en azúcares hexosas (Westgate, 1997; Zinselmeier *et al.* 1995).

2.6 Efecto del estrés por sequía en la etapa de floración.

El rendimiento bajo estrés hídrico corresponde al rendimiento obtenido en condiciones de limitada disponibilidad de agua para el crecimiento de la planta. El estrés hídrico reduce el crecimiento celular, disminuye el área foliar, reduce la fotosíntesis y consecuentemente disminuye la producción y el rendimiento de los cultivos (Acevedo *et al.*, 1998).

El efecto del déficit hídrico depende del período de desarrollo en que ocurre. Un déficit suave de agua en el período vegetativo pueden producir poco efecto sobre el crecimiento del cultivo, pudiendo acelerar la maduración. El período de floración es muy sensible al déficit de agua, pues afecta la formación del polen y la fertilización. El número de granos puede disminuir bruscamente cuando el estrés ocurre en el período de crecimiento de la espiga y antesis (Hochman, 1982).

La coincidencia en la floración de los progenitores es muy importante en maíces híbridos, ya que de ella depende una buena producción de semilla. Una mala sincronización en la floración hace que se dificulte el mantenimiento de la calidad genética, lo mejor es la coincidencia total que minimice la contaminación con polen extraño (Asteinza *et al.*, 1990).

La falta de humedad en etapas críticas amplía el periodo de la floración de progenitores de híbridos de maíz, dificultando la producción por el aumento en el intervalo de floración masculina y femenina (Espinoza y Carballo, 1986). Ante

condiciones de sequía, la floración se retrasa, siendo más marcado este retraso en la floración femenina(Quezada y Muños, 1986).

La sequía afecta más al maíz cuando incide cerca de la floración ya que inhibe el desarrollo floral y provoca fallas en la fertilización y absorción de cigotes(Saini y Westgate, 2000).

El rendimiento de grano se reduce más que en otros estadios del crecimiento debido a que la floración es un periodo crítico en la definición del número de granos, principal componente del rendimiento (Cakir, 2004).

El efecto morfológico principal cuando el estrés por sequía ocurre poco antes de la floración, es un retraso de la emergencia de estigmas, resultando en un incremento en la longitud del intervalo entre antesis y emergencia de estigmas (IAE), acompañado de un decremento en el rendimiento de grano. La selección para corto IAE en variedades tropicales de polinización libre de maíz ha estado mostrando una correlación negativa con el rendimiento bajo condiciones de sequía (Ribaut *et al.*, 1996).

El estrés hídrico durante etapas vegetativas y la floración, reducen el número de granos e incrementa la cantidad de plantas sin mazorcas. Durante el llenado de grano en la mazorca, esta condición genera granos chicos (Campos *et al.*, 2006); si la humedad de éstos cae por debajo del 30% entonces no acumulan materia seca.

Bajo condiciones de sequía en el campo, la causa más común de una escasa formación de granos parece ser el aborto de los óvulos polinizados. El aborto ocurre aparentemente porque el flujo de sustancias asimiladas de la corriente fotosintética al grano en desarrollo es inadecuado, aun cuando los niveles de carbón reducido y nitrógeno están presentes en los tejidos vegetativos. El bajo contenido de agua del ovulo parece afectar la viabilidad de cada grano en desarrollo para actuar como un depósito efectivo, aun si el número de granos por mazorca se reduce (Zinselmeier *et al.* 1995).

Schussler y Westgate (1991) sugirieron que la afectación del número de granos en plantas sometidas a sequia se debe a la reducción de la fotosíntesis. Además, se ha demostrado una estrecha asociación entre el aborto de granos y la provisión de carbohidratos durante la floración (Zinselmeier *et al.*, 1999; McLaughlin y Boyer, 2004).

En maíz se considera que la floración y las etapas iniciales del período de llenado de grano son críticas para la determinación del rendimiento de grano. Debido a esto, la presencia de temperaturas altas, frecuentemente asociadas con sequías durante estas etapas, puede afectar los procesos de polinización, fecundación y desarrollo del grano. Esto es consecuencia de la desecación de estigmas y/o de los granos de polen y la reducción de la tasa y/o duración del período de llenado de grano, que afectan el número y peso individual de los mismos (Bassetti y Westgate, 1993; Suzuki *et al.*, 2001; Wilhelm *et al.*, 1999).

Las temperaturas altas en la etapa inicial del período de llenado de grano tiene efectos detrimentales en el peso individual del grano del maíz; el nivel de estos efectos depende de las condiciones ambientales imperantes en este período (Commuri y Jones, 2001; Wilhelm *et al.*, 1999).

2.5 Densidad de siembra

La interceptación de radiación por el cultivo es función de la densidad de plantas y del arreglo espacial de estas plantas y sus hojas en el terreno (Willey y Heath, 1969).

El rendimiento en grano por unidad de área, responde al incremento en la densidad de plantas en el cultivo de maíz, dando una curva de tipo óptimo (Karlem y Camp, 1985). Mientras el rendimiento por planta disminuye con el aumento en la densidad, el rendimiento de cultivos se incrementa hasta un máximo y a mayor cantidad de individuos el rendimiento reduce marcadamente.

El maíz tiene escasa capacidad para diferenciar estructuras reproductivas adicionales frente a densidades subóptimas (Edmeades y Daynard, 1979). En ese sentido, en densidades baja el número de espigas se encuentra próximo a su número potencial (Ruget, 1989).

A altas densidades ocurren importantes disminuciones en el rendimiento, debido a caídas en el peso y número de granos por unidad de superficie. La reducción en el número de granos responde al aumento en el número de plantas estériles y a la disminución del número de granos por espiga, con

relativa de diversos autores sobre la importancia de cada uno de los dos fenómenos (Daynard y Muldoon, 1983; Tethio-Kagho y Gardner, 1988; Hashemi-Dezfouli y Herbert, 1992). En estos casos, las plantas estarían sometidas a un alto grado de estrés hídrico y nutricional.

Las mayores densidades de plantas utilizadas actualmente para la producción de maíz provocan una alta presión de competencia intra-específica, causando un incremento temprano de la variabilidad del crecimiento de las plantas, que puede sostenerse durante el período crítico del cultivo y reflejarse en las distintas tasas de crecimiento de la planta durante el periodo crítico (TCP) e índices de partición de biomasa hacia la espiga (IP) de las plantas del stand (Maddonni y Otegui, 2004; Pagano y Maddonni, 2007). Estos hallazgos han sido obtenidos considerando el estrés por luz generado por el aumento de la densidad de siembra en ausencia de otros estreses abióticos como deficiencias hídrico-nutricionales.

El rendimiento por unidad de superficie está condicionado por el número de individuos capaces de producir rendimiento en grano. La biomasa producida por cada individuo refleja la disponibilidad de recursos durante toda la estación de crecimiento y se asocia con su rendimiento (Vega *et al.*, 1997).

En el cultivo de maíz, el número de granos por m² es el componente que mayor asociación tiene con el rendimiento final, variando más que el peso del grano en respuesta a las fluctuaciones en las condiciones ambientales (Fischer y Palmer, 1984; Cirilo y Andrade, 1994). El número de granos se determina alrededor de

la floración (Otegui y Bonhomme, 1998) y se lo ha correlacionado con la intercepción de luz (Andrade *et al.*, 1993; Kiniry y Knievel, 1995), la fotosíntesis (Edmeades y Daynard, 1979) y el crecimiento del cultivo (Hawkins y Cooper, 1981; Andrade *et al.*, 1999) durante el período crítico mencionado.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización de la estación experimental.

El estudio se efectuó en la estación experimental del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ubicado en la localidad de Tlaltizapán, Mor., México.

El municipio de Tlaltizapán se ubica geográficamente entre los paralelos N 18.68936° W 99.12577° del meridiano de Greenwich, a una altura de 945 msnm. Al norte colinda con los municipios de Emiliano Zapata y Yautepec, al este con Ayala, con Tlaquiltenango al sur, colinda con Zacatepec al suroeste, y al oeste con Xochitepec y Puente de Ixtla.

El municipio tiene un clima subtropical y húmedo caluroso con invierno poco definido, con la mayor sequía al final del otoño-invierno y principios de primavera. La temperatura media anual es de 23.5 °C con una precipitación pluvial de 840 mm anuales y el periodo de lluvias es de junio a octubre.

3.2 Materiales Genéticos

El germoplasma evaluado en este estudio representa los híbridos desarrollados por el CIMMYT en el transcurso de los últimos 20 años. LPSC7-C7 F64-2-6-2-2-B-B-B-B-B/ CML-312 SR (G1) en 1995 fue lanzado en México, CML448/CML449 (G2) en el 2000, CML494/CML495 (G3) a principios de 2005 y CML549/CML550 (G4) en el 2010. Cada híbrido representa el mejor material del CIMMYT de las respectivas épocas. La selección de líneas y evaluación de

híbridos experimentales para G1 se llevó a cabo en condiciones óptimas a una densidad de siembra de 5 plantas m^2 . Durante el desarrollo de la densidad de siembra de la línea G2 y la evaluación de los híbridos experimentales se llevó a cabo a una densidad de 8 y 6 plantas m^2 , respectivamente. Para G3 y G4 el desarrollo de líneas y evaluación de híbridos experimentales se llevó a cabo en densidades de siembra de 7 y 9 plantas m^2 . Durante el desarrollo de G4 como de la etapa 2, los híbridos experimentales se evaluaron bajo condiciones deficientes de nitrógeno.

3.3 Diseño experimental

En esta evaluación se utilizó un diseño experimental de parcelas subdivididas con cuatro repeticiones, se evaluaron tres densidades de siembra bajo condiciones de sequía como parcelas principales, densidad baja (5 plantas m^2 , densidad normal (7 plantas m^2) y densidad alta (9 plantas m^2) como sub-parcelas, y dentro de las densidades de siembra los genotipos se asignaron al azar como sub-sub parcelas bajo condiciones de estrés por sequía y condiciones óptimas de riego. En cada densidad de siembra se utilizó una medida diferente en la distancia entre plantas, en la densidad baja la distancia fue de 27 cm, densidad normal una distancia de 20 cm, y en la densidad alta 15 cm, con surcos de 5 m de largo y el espacio entre surcos de 0.75 m.

3.4 Manejo agronómico

3.4.1 Preparación de terreno. La preparación de terreno consistió en un barbecho, rastra, nivelación y trazos de surcos.

3.4.2 Siembra. Se realizó en seco y en forma manual con tres densidades de siembra, baja, normal y alta. En el cual para la densidad baja se utilizó una distancia de 27 cm entre golpe depositando dos semillas, en la densidad normal la distancia entre golpe fue de 20 cm depositando respectivamente dos semillas, y en la densidad alta la distancia utilizada fue de 15 cm entre golpe de igual manera depositando dos semillas, utilizando surcos de 5 m de largo, posteriormente aclarándose a los 25 días después de la siembra dejando una planta.

3.4.3 Fertilización. La fórmula de fertilización utilizada fue de: 160 N- 70 P-22K.

3.4.4 Riego. Para la germinación se utilizó un sistema de riego por aspersión, a partir de los 45 días después de la siembra se realizó una primera aplicación de riego rodado, posteriormente en un intervalo de 12 días se aplicó el segundo riego, y a los 27 días después se aplicó el tercer riego.

3.4.5 Control de plagas. Se realizó según la presencia y/o la infestación de plagas, presentándose el Gusano Cogollero (*Spodoptera frugiperda*), aplicando insecticida granulado Pounce (Permetrina 3-Fenoxibencil (1RS)-cis,trans- 3-(2,2-diclorovinil)-2,2 dimetilciclopropanocarboxilato)

3.4.5 Cosecha. La cosecha se realizó manualmente el día 07 de Junio del 2012, cosechándose el total de las mazorcas de cada parcela, posteriormente las mazorcas de cada parcela se depositaron al inicio de la misma para ser pesados y calificados.

3.5 Características evaluadas

3.5.1 Rendimiento de grano por hectárea. Se estimó en base al peso de campo de cada parcela, transformándose de kilos por parcela a kilos por hectárea.

3.5.2 Días a floración Masculina. Se registró como el número de días transcurridos desde la siembra hasta la fecha en la cual el 50% de las plantas de las parcelas se encontraban liberando polen.

3.5.3 Días de floración Femenina. Se registró como el número de días transcurridos desde la siembra hasta la fecha en la cual el 50% de las plantas de las parcelas mostraban como mínimo un estigma.

3.5.4 Intervalo entre la floración masculina y femenina. Se registró como la diferencia de días entre la floración masculina y femenina.

3.5.5 Mazorcas por planta. Se calculó en base al número total de mazorcas y el número total de plantas cosechadas por parcela.

3.5.6 Altura de planta. Se cuantificó con base en 5 plantas seleccionadas al azar como la distancia en cm desde la base de la planta hasta el nudo donde inicia la panoja o espiga.

3.5.7 Altura de Mazorca. Al igual que la Altura de la Planta se seleccionaron 5 plantas al azar, cuantificándose desde la base de la planta hasta el nudo con la mazorca más alta, en cm.

3.5.6 Acame de Raíz. Se tomó al final de ciclo, antes de la cosecha registrándose el número de plantas con una inclinación de 45° o más a partir de la perpendicular en la base de la planta.

3.5.7 Acame de Tallo. Se registró como el número de plantas con tallos rotos debajo de la mazorca, antes de la cosecha.

3.5.8 Número de mazorcas por metro cuadrado. Se registro en base a las densidades de siembra y el número total de mazorcas cosechadas por parcela.

3.5.9 Peso de mazorca. Se realizo en campo al término de la cosecha de cada parcela.

3.5.10 Mazorcas podridas. Se cuantifico al momento de la cosecha como el número de mazorcas que presentaban pudrición de cada pacela, la cual se expresó en porcentaje en relación al número total de mazorcas cosechadas.

IV. RESULTADOS

El análisis de varianza de la prueba de sequía y altas temperaturas se muestran en la Figura 4.1 en la cual se observan diferencias significativas entre los genotipos en las siguientes variables: rendimiento de grano por hectárea ($RGtha^{-1}$), rendimiento de grano por planta (Rgp), número de mazorcas por planta (MPP), floración masculina (FM), floración femenina (FF), ASI, altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), acame de raíz (AR) y acame de tallo (AT). La densidad de siembra afectó significativamente el $RGtha^{-1}$, MPP, FM, el ASI y AM.

Sin embargo el tratamiento de riego afectó significativamente todas las variables, por la incidencia de acame de raíz. La interacción genotipo por densidad de siembra tuvo efectos significativos las cuales se muestran en las variables $RGtha^{-1}$, Rgp y mazorcas podridas (MP).

Como consecuencia de las altas temperaturas el MPP se redujo, la formación de mazorcas se vio afectada en el tamaño (mazorcas pequeñas), también aumentó la incidencia de la pudrición. Por otra parte el ASI en el G1 fue similar al de las condiciones normales de riego. Para el G2, G3 y G4 hubo una variación de 6 a 8 días en densidad 5, 8 a 9 días en densidad 7, y 7 a 12 días en densidad 9, el cual indica que estos genotipos tuvieron una respuesta no favorable en este ambiente, y se explica el bajo rendimiento de grano que se obtuvo.

En condiciones óptimas el ASI fue menor a 0.5 días. Para los otros genotipos hubo diferencias ya que el ASI aumentó de 1.8 a 2.5 días. Esto explica parte de las reducciones de rendimiento en el tratamiento de riego óptimo sometido a altas temperaturas.

El G1 establecido en condiciones óptimas de riego tuvo respuestas favorables en altas densidades los resultados indican un mayor rendimiento de grano por hectárea, en D7 (+56%) y D9 (106%), el genotipo mostro un incremento del $RGtha^{-1}$ mientras que el Rgp no se redujo significativamente.

Se observaron cambios significativos en el rendimiento a través de las densidades de siembra por el efecto de la interacción en grupos de poblaciones sobre los genotipos. El análisis de varianza indica que hay diferencias significativas en la variable $RGtha^{-1}$ entre los genotipos evaluados bajo condiciones óptimas de riego.

Los promedios de rendimiento se muestran en el cuadro 4.2 se observa que el G1 obtuvo el mayor rendimiento en $RGtha^{-1}$ y Rgp en las tres densidades de siembra en los diferentes tratamientos, mientras que en D9 el rendimiento del G4 fue el segundo más alto.

En el tratamiento de riego óptimo los resultados indican que el G1 en D5 tuvo un rendimiento de 3.54 t/ha ($RGtha^{-1}$) y 70,5 g/p (Rgp), el G3 con 2,80 t/ha⁻¹ ($RGtha^{-1}$) y 52,9 g/p (Rgp). Los resultados no fueron favorables para el G2

($RG_{tha^{-1}}$ 1.75 y R_{gp} de 39,5) y G4 el rendimiento obtenido fue inferior con un $RG_{tha^{-1}}$ de 2,17t/h y R_{gp} de 42,3.(Cuadro 4.2, figura 1.)

Comparando los resultados de los genotipos en $RG_{tha^{-1}}$ y R_{gp} con el aumento de las densidades G2, G3 y G4 fueron los más afectados cuyo rendimiento en D7 bajó 34-37% (31-37%) y en D9 32-45% (31-48%) que el G1.

Cuadro 4.1 Valores medios de 4 genotipos de maíz tropical evaluados bajo condiciones óptimas de riego en la estación experimental del CIMMYT, en Tlaltizapán, Morelos, México.

Dens	Geno	RG (tha ⁻¹)	SE	FM	SE	FF	SE	ASI	SE	MPP	SE	AP	SE	AM	SE	AR	SE	AT	SE	NMz ²	SE	PMZ	SE	MzP	SE
5	G1	3.54	0.30	73.50	0.81	75.25	1.07	1.75	0.71	0.97	0.08	137.25	4.83	73.00	3.52	0.78	1.58	25.54	3.06	4.84	0.38	73.11	4.89	4.00	0.74
5	G2	1.75	0.30	9.25	0.81	82.25	1.07	3.00	0.71	0.91	0.08	134.75	4.83	66.75	3.52	3.86	1.58	22.64	3.06	4.55	0.38	37.74	4.89	1.25	0.74
5	G3	2.80	0.30	77.50	0.81	79.25	1.07	1.75	0.71	1.10	0.08	148.50	4.83	68.75	3.52	0.86	1.58	2.79	3.06	5.49	0.38	50.17	4.89	2.25	0.74
5	G4	2.17	0.30	77.25	0.81	79.75	1.07	2.50	0.71	0.94	0.08	145.75	4.83	77.25	3.52	0.78	1.58	4.59	3.06	4.72	0.38	46.35	4.89	2.00	0.74
7	G1	5.00	0.34	73.25	0.57	74.00	0.69	0.75	0.53	1.00	0.06	144.00	5.12	85.00	3.34	0.00	1.22	20.84	2.48	6.97	0.43	72.15	3.49	2.75	0.99
7	G2	3.39	0.34	79.00	0.57	82.00	0.69	3.00	0.53	0.89	0.06	136.25	5.12	60.50	3.34	2.84	1.22	9.31	2.48	6.20	0.43	54.45	3.49	2.50	0.99
7	G3	3.38	0.34	78.00	0.57	80.00	0.69	2.00	0.53	1.02	0.06	152.50	5.12	77.75	3.34	4.04	1.22	6.85	2.48	7.11	0.43	47.31	3.49	2.25	0.99
7	G4	3.13	0.34	77.50	0.57	79.50	0.69	2.00	0.53	0.92	0.06	154.50	5.12	77.50	3.34	0.00	1.22	4.51	2.48	6.44	0.43	48.97	3.49	2.00	0.99
9	G1	6.14	0.44	73.00	0.65	74.25	0.73	1.25	0.61	0.99	0.09	134.25	5.10	81.50	3.18	1.39	1.64	19.93	2.66	8.95	0.77	67.88	35.23	5.00	0.80
9	G2	4.17	0.44	77.75	0.65	81.25	0.73	3.50	0.61	0.72	0.09	151.00	5.10	76.75	3.18	2.34	1.64	6.33	2.66	6.46	0.77	64.56	35.23	2.00	0.80
9	G3	3.71	0.44	77.50	0.65	80.00	0.73	2.50	0.61	0.89	0.09	148.75	5.10	80.75	3.18	0.46	1.64	5.73	2.66	8.00	0.77	46.33	35.23	1.00	0.80
9	G4	3.28	0.44	75.25	0.65	79.25	0.73	4.00	0.61	0.96	0.09	158.75	5.10	84.50	3.18	1.32	1.64	4.83	2.66	8.60	0.77	38.50	35.23	2.25	0.80

Dens= Densidad, Geno= Genotipo RG t/ha= Rendimiento de grano por hectárea, SE= Error Estándar, FM= Floración Masculina, FF= Floración Femenina, ASI= Intervalo entre Floración Masculina y Femenina, MPP= Mazorcas por Planta, AP= Altura de Planta, AM= Altura de Mazorca, AR= Acame de Raíz, ATT= Acame de Tallo, NMz²Número de mazorcas por metro cuadrado, PMZ= Peso de mazorca MP= Mazorcas Podridas.

De acuerdo con el análisis de varianza hubo diferencia significativa entre ambientes y genotipos, $RG_{t\text{ha}^{-1}}$ y R_{gp} se redujo significativamente cuando los genotipos fueron sometidos a altas temperaturas en las diferentes densidades de siembra. El $RG_{t\text{ha}^{-1}}$ del G1 en D5 fue de 1.62 t/ha, D7 2.19 t/ha, D9 2.97 t/ha, en D7 se destaca el G3 con un $RG_{t\text{ha}^{-1}}$ de 0,71, el G2 con un rendimiento bajo de 0.41 t/ha, mientras que el G4 en D9 alcanzó un máximo de 0.62 t/ha. Cuadro 4.3 y figura 1

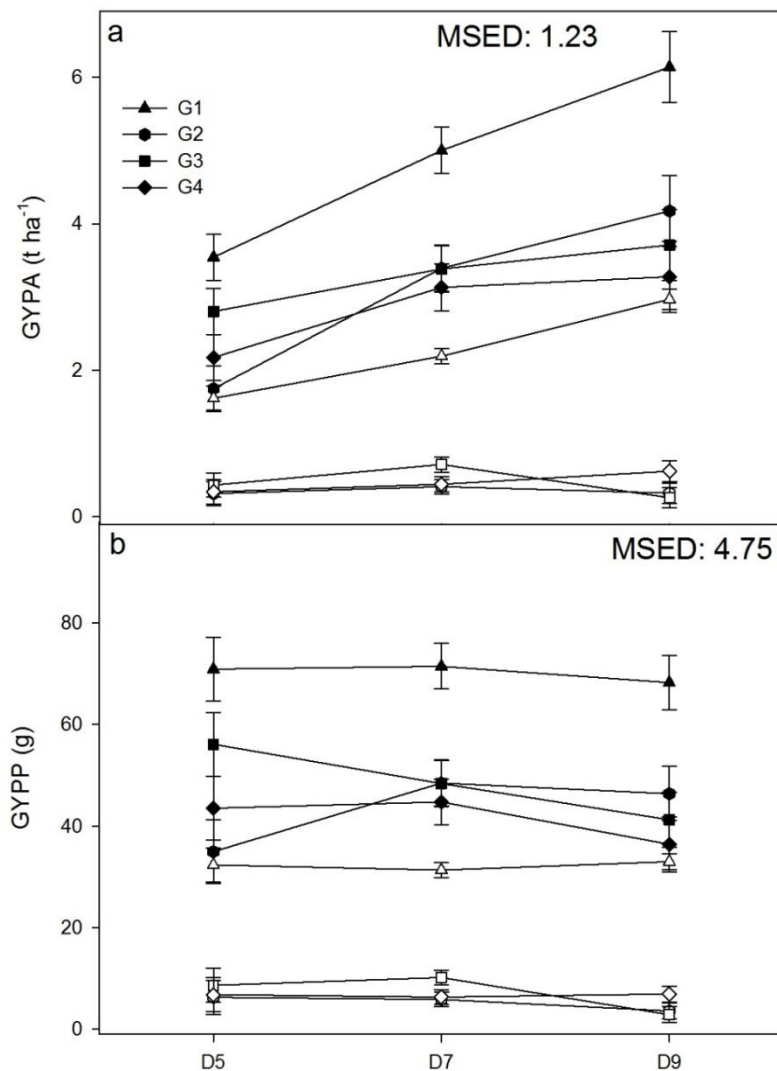


FIGURA 1. En la parte “a” se observa el rendimiento de grano por hectárea de los 4 genotipos, en la parte “b” el rendimiento de grano por planta bajo condiciones óptimas de riego y sequía, en tres densidades de siembra.

Cuadro 4.2 Valores medios de 4 genotipos de maíz tropical evaluados bajo condiciones de deficiencia de riego en la estación experimental del CIMMYT, en Tlaltizapán, Morelos, México.

Dens	Geno	RG (tha ⁻¹)	SE	FM	SE	FF	SE	ASI	SE	MzPP	SE	AP	SE	AM	SE	AR	SE	AT	SE	NMz ²	SE	PMZ	SE	MzP	SE
5	G1	1.62	0.15	75.25	0.73	78.25	1.85	3.00	1.67	0.70	0.07	120.75	5.98	74.50	3.63	0.76	1.09	34.34	5.91	3.48	0.37	45.56	5.21	2.75	0.54
5	G2	0.32	0.15	82.50	0.73	91.23	2.13	7.89	1.92	0.29	0.07	124.75	5.98	67.00	3.63	1.92	1.09	39.69	5.91	1.43	0.37	22.36	5.21	0.25	0.54
5	G3	0.43	0.15	77.75	0.73	86.50	1.85	8.75	1.67	0.48	0.07	135.25	5.98	70.00	3.63	1.19	1.09	16.56	5.91	2.39	0.37	16.32	5.21	1.50	0.54
5	G4	0.34	0.15	77.75	0.73	83.75	1.85	6.00	1.67	0.52	0.07	137.00	5.98	72.00	3.63	0.00	1.09	16.99	5.91	2.60	0.37	13.12	5.21	1.25	0.54
7	G1	2.19	0.14	75.00	0.78	78.25	2.22	3.25	2.30	0.62	0.03	124.75	10.41	71.00	3.97	0.00	1.23	21.68	5.14	4.33	0.24	51.11	3.69	3.00	0.65
7	G2	0.41	0.14	81.75	0.78	91.50	2.22	9.75	2.30	0.29	0.03	126.25	10.41	65.50	3.97	2.37	1.23	37.51	5.14	2.03	0.24	19.96	3.69	0.25	0.65
7	G3	0.71	0.14	77.75	0.78	86.50	2.22	8.75	2.30	0.37	0.03	140.00	10.41	74.50	3.97	3.85	1.23	16.39	5.14	2.56	0.24	27.76	3.69	0.25	0.65
7	G4	0.44	0.14	77.50	0.78	86.50	2.22	9.00	2.30	0.38	0.03	131.00	10.41	73.50	3.97	0.00	1.23	19.27	5.14	2.66	0.24	16.48	3.69	1.25	0.65
9	G1	2.97	0.15	73.25	0.61	77.50	1.24	4.25	1.26	0.63	0.03	131.75	5.23	73.25	3.42	0.00	0.74	26.38	5.02	5.69	0.27	52.43	4.28	4.75	0.61
9	G2	0.32	0.15	80.25	0.61	92.50	1.24	12.25	1.26	0.16	0.03	128.75	5.23	68.25	3.42	1.32	0.74	33.78	5.02	1.41	0.27	22.73	4.28	1.50	0.61
9	G3	0.26	0.15	78.75	0.61	90.00	1.24	11.25	1.26	0.24	0.03	135.00	5.23	78.75	3.42	0.48	0.74	22.59	5.02	2.14	0.27	12.37	4.28	0.50	0.61
9	G4	0.62	0.15	76.75	0.61	84.00	1.24	7.25	1.26	0.34	0.03	139.25	5.23	81.50	3.42	0.93	0.74	20.44	5.02	3.02	0.27	20.95	4.28	0.25	0.61

Dens= Densidad, Geno= Genotipo, RGt/ha⁻¹= Rendimiento de grano por hectárea, SE= Erros Estándar, FM= Floración Masculina, FF= Floración Femenina, ASI= Intervalo entre Floración Masculina y Femenina, MPP= Mazorcas por Planta, AP= Altura de Planta, AM= Altura de Mazorca, AR= Acame de Raíz, ATT= Acame de Tallo, NMz²Número de mazorcas por metro cuadrado, PMZ= Peso de mazorca MP= Mazorcas Podridas

El $RGtha^{-1}$, Rgp y MPP se redujeron al menos en un 31%. El MPP en el G1 se redujo en un 0,3%, se observaron reducciones más acentuadas para G2 -0,56%, G3 -0.6% y G4 -0,49%.

La sequía tuvo efectos negativos sobre $RGtha^{-1}$ por la interacción D7 y D9. En promedio el $RGtha^{-1}$ (-33%) y Rgp (-26%) se han reducido en comparación con el tratamiento de condiciones óptimas de riego. Mientras que el intervalo de FF (emergencia de estigmas) mostro un incremento promedio en el G2 (D7 9.75 días) y G3 (D9 11.25 días).

La reducción de riego en G2 ha causado un mayor acame de raíz por encima del G1, y las temperaturas altas dio lugar a aumentos leves en acame de raíz. No está claro por qué el aumento de acame se acentúa como se observa aquí.

4.1 Coeficiente de correlación

En el Cuadro 4.4, se concentran los valores de correlación entre las variables medidas de 4 genotipos de maíz bajo condiciones óptimas de riego. FF correlacionó alta y positivamente con FM (0.86), al igual que el ASI con FF. También se observó una correlación negativa entre AT y AP (-0.3) al igual que MP con FF (-0.31) y el ASI (-0.32), MP con AP (-0.25), Rgp con FM (-0.53) y FF (-0.59) y una relación positivamente alta con MPP (0.6). El $RGha^{-1}$ correlaciono negativamente con FM (-0.58) y FF (-0.53) y positivamente alta con AP (0.32) MPP (0.29) y con Rgp.

Cuadro 4.3 Correlación fenotípica de 10 variables agronómicas evaluadas en 4 genotipos de maíz bajo condiciones óptimas de riego.

	FM	FF	ASI	AP	AR	AT	MPP	NMz ²	MP	R gp
FF	0.86***									
ASI	0.05	0.52***								
AP	-0.12	-0.06	0.02							
AR	0.16	0.15	0.05	-0.12						
AT	-0.13	-0.18	-0.14	-0.3**	0.02					
MPP	-0.14	-0.31**	-0.32**	0.09	0.02	-0.04				
NMz ²	-0.53***	-0.5***	-0.18	0.18	-0.15	0.1	0.2			
MP	-0.06	-0.14	-0.13	-0.25*	0.06	0.15	0.1	0.03		
Rgp	-0.53***	-0.59***	-0.3	0.21	-0.11	0.09	0.6***	0.89***	0.07	
Rtha ⁻¹	-0.58***	-0.53***	-0.17	0.32**	-0.03	0.06	0.29**	0.81***	0.1	0.8**

FM= Floración Masculina, FF= Floración Femenina, ASI= Intervalo entre Floración Masculina y Femenina, AP= Altura de Planta, AR= Acame de Raíz, AT= Acame de Tallo, MPP= Mazorcas por Planta, NMz²=Numero de mazorcas por metro cuadrado, MP= Mazorcas Podridas, RG t/ha= Rendimiento de grano por hectárea, RG g/p= Rendimiento de Grano por planta.

En el cuadro 4.5, se concentran los valores de correlación entre las variables medidas de 4 genotipos de maíz bajo condiciones de sequía. FF correlacionó alta y positivamente con FM (0.74), al igual que el ASI con Floración Femenina (0.4) y FM (0.88). También se observó una correlación negativa entre AP y FM (-0.21). Una relación positiva entre AT y FM (0.32), con FF (0.3), el ASI (0.28), y Negativamente con AP (-0.48). La variable MPP con FF (-0.65) fue negativa, al igual que con FF (0.78), el ASI (-0.67), positivamente con la AP (0.23), negativa con AT (-0.36), resultado negativa también en MP con FM (-0.26), FF (-0.27), y el ASI (-0.2). El Rgp resulto con una relación negativa con la FM (-0.66), FF (-0.81), el ASI (-0.72), AT (-0.25), una relación positiva con MPP (0.87), MP (0.39). El Rgha resulto negativamente con la FM (-0.68), FF (-0.78), el ASI 8(-0.67), AT (-0.31), y positivamente con MP (0.38) y Rgp (0.96).

Cuadro 4.4 Correlación fenotípica de 10 variables agronómicas evaluadas en 4 genotipos de maíz bajo condiciones de sequía

	FM	FF	ASI	AP	AR	AT	MPP	NMz²	MP	Rgp
FF	0.74***									
ASI	0.4***	0.88***								
AP	-0.21*	-0.1	-0.02							
AR	0.18	0.07	-0.01	-0.1						
AT	0.32**	0.3**	0.28**	-0.48***	-0.11					
MPP	-0.65***	-0.78***	-0.67***	0.23*	-0.14	-0.36***				
NMz²	-0.5	-0.62	-0.55	-0.03	0.01	-0.03	0.53***			
MPP	-0.26**	-0.27**	-0.2	-0.06	-0.08	0.07	0.34	0.42		
Rgp	-0.66***	-0.81***	-0.72***	0.13	-0.09	-0.25*	0.87***	0.85***	0.39***	
RGtha⁻¹	-0.68***	-0.78***	-0.67***	0.17	-0.06	-0.31**	0.81	0.84***	0.38***	0.96***

FM= Floración Masculina, FF= Floración Femenina, ASI= Intervalo entre Floración Masculina y Femenina, AP= Altura de Planta, AR= Acame de Raíz, AT= Acame de Tallo, MPP= Mazorcas por Planta, EWT, MP= Mazorcas Podridas, RG t/ha= Rendimiento de grano por hectárea, RG g/p= Rendimiento de Grano por planta.

V. DISCUSIÓN

5.1 ANOVA

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas entre genotipos en las variables como rendimiento de grano por hectárea, floración masculina y femenina, ASI, acame de tallo, número de mazorcas y mazorcas podridas. De igual manera se muestra diferencias significativas entre tratamientos en las mismas variables excepto en altura de mazorca y acame de raíz.

Respecto a las densidades de siembra; rendimiento de grano por hectárea, floración masculina, altura de mazorca y número de mazorcas, son las variables que mostraron diferencias significativas.

El ANOVA de la interacción genotipo por tratamiento se encontró significancia para floración femenina, ASI y número de mazorcas. Para genotipo por densidad la significancia se encontró en rendimiento de grano por hectárea, acame de raíz y mazorcas podridas. Así mismo en; tratamiento por densidad solo se encontró diferencia significativa para rendimiento de grano por hectárea.

5.1.2 Genotipos tolerantes a calor y BR

De acuerdo con los resultados que se muestran en la tabla 4.2 bajo condiciones de calor con riego óptimo, el genotipo que presentó un mayor rendimiento en las tres densidades de siembra fue el G1 con 3.54 t/ha en D5, 5 t/ha en D7 y 6.14 t/ha en D9. Mientras que en densidad alta (D9) el segundo genotipo que mostró un mayor incremento en el rendimiento fue el G2 con 4.17t/ha. La máxima expresión

de $RG\text{tha}^{-1}$ presentada por el genotipo 1 sometido a las tres densidades de siembra con riego óptimo y calor nos indica que es tolerante a estas condiciones, por otra parte el genotipo 2 expuesto a la densidad alta (D9) indica que tolera estas condiciones ya que presento el segundo rendimiento alto.

5.1.3 ¿Por qué rinden más que otros (floración ASI, acame etc)? ¿cuál es el mecanismo que baja el rendimiento de los genotipos susceptibles?

El incremento de las densidades de plantación puede ser contraproducente dependiendo de los genotipos, por una parte es una forma de maximizar el rendimiento y por otra se genera una competencia entre plantas por agua, luz y nutrientes afectando la producción por planta, ya que decrece el número de mazorcas de la misma, el llenado de granos, el peso y el tamaño, cabe mencionar que una mayor población de plantas provoca mayor sombramiento esto hace que las plantas crezcan más al tratar de recibir luz y da lugar a plantas alargadas con tallos débiles fáciles de acamarse lo que afecta al rendimiento final porque se reduce el número de mazorcas ya que estas no alcanzan a completar su desarrollo, no se completa el proceso de llenado de granos, y provoca pudrición afectando la calidad. Por lo que se explica el bajo de rendimiento de los genotipos susceptibles.

En altas densidades ocurren importantes disminuciones en el rendimiento, debido a caídas en el peso y número de granos por unidad de superficie. La reducción en el número de granos responde al aumento en el número de plantas estériles y a la

disminución del número de granos por espiga, con relativa de diversos autores sobre la importancia de cada uno de los dos fenómenos (Daynard y Muldoon, 1983; Tethio-Kagho y Gardner, 1988; Hashemi-Dezfouli y Herbert, 1992). En estos casos, las plantas estarían sometidas a un alto grado de estrés hídrico y nutricional.

El alto rendimiento obtenido por G1 en sus respectivas densidades indica que es tolerante a estas condiciones, una característica principal que destaca es el peso de mazorca ya que en cada densidad fue incrementando y puede ser explicado porque el número de mazorcas por planta fue ligeramente mayor y por consiguiente las mazorcas/m², la altura de planta fue la más baja, menos acame de raíz.

Vega *et al* (1997) mencionan que el rendimiento por unidad de superficie está condicionado por el número de individuos capaces de producir rendimiento en grano. El rendimiento en grano por unidad de área, responde al incremento en la densidad de plantas en el cultivo de maíz, dando una curva de tipo óptimo (Karlem y Camp, 1985). Mientras el rendimiento por planta disminuye con el aumento en la densidad, el rendimiento de cultivos se incrementa hasta un máximo y a mayor cantidad de individuos el rendimiento reduce marcadamente

5.1.4 ¿Cuáles son los genotipos tolerantes a calor y RR?

El estrés hídrico impuesto redujo el rendimiento de grano en los cuatro genotipos, pero el nivel de efecto fue diferente entre ellos. De los cuatro genotipos evaluados

el G1 se destaca con el mayor rendimiento en las tres densidades de siembra (D5 1.62 t/ha, D7 2.19 t/ha, D9 2.97 t/h), el G3 fue el segundo en D5 con 0.43 t/ha y D7 0.71 t/ha. En D9 el G4 es el segundo genotipo que se destaca con un rendimiento de 0.62 t/ha, por encima del G2 y G3.

5.1.5 ¿Por qué rinden más que otros (floración ASI, acameetc)? ¿Cuál es el mecanismo que baja el rendimiento de los genotipos susceptibles?

El déficit hídrico impuesto por condiciones de sequía tuvo efectos importantes en algunas características evaluadas como la floración masculina y femenina, principalmente y muy importante en el retraso de la aparición de los estigmas, en esta etapa de la planta es muy importante porque de aquí depende el rendimiento final. Se presentó un incremento en el intervalo de la floración en las tres densidades de siembra, en D5 incrementó de 6.00 a 8.75 días, en D7 8.75 a 9.75 días, y en D9 de 7.25 a 12.25 días, para G2, G3, G4, en contraste con el G1 el intervalo de floración fue de 3.00 días en D5, 3.25 en D7, y 4.25 en D9.

En maíz se considera que la floración y las etapas iniciales del período de llenado de grano son críticas para la determinación del rendimiento de grano. Debido a esto, la presencia de temperaturas altas, frecuentemente asociadas con sequías durante estas etapas, pueden afectar los procesos de polinización, fecundación y desarrollo del grano. Esto es consecuencia de la desecación de estigmas y/o de los granos de polen y la reducción de la tasa y/o duración del período de llenado

de grano, que afectan el número y peso individual de los mismos (Bassetti y Westgate, 1993; Suzuki *et al.*, 2001; Wilhelm *et al.*, 1999).

Por otro lado el factor alta densidad de siembra también afectó severamente esta característica ya que al ir aumentando el número de plantas la demanda por agua, luz, y nutrientes es mayor, esto generó una competencia entre plantas. A medida que el intervalo entre la floración masculina y femenina fue aumentando afectó el proceso de polinización, fecundación y por ende el desarrollo de los granos, de esta manera cuando el déficit hídrico ocurrió durante la antesis junto con las altas densidades de siembra inhibió el crecimiento del jilote y los estigmas más que la espiga, así la caída del polen no coincidió con la emergencia de los estigmas y con ello una falta de polinización, posteriormente los efectos se reflejan en las características como número de granos que se desarrollan, el número de mazorcas por planta, el tamaño que logra a desarrollar la mazorca, tanto como el peso de los mismos.

El estrés hídrico durante etapas vegetativas y la floración, reducen el número de granos e incrementa la cantidad de plantas sin mazorcas. Durante el llenado de grano en la mazorca, esta condición genera granos chicos (Campos *et al.*, 2006)

El acame de raíz es otro aspecto que afectó el rendimiento en estos genotipos ya que la mazorca al estar expuesto a la humedad y la tierra pierde la calidad provocado por la pudrición. Estos son los efectos en las plantas que provocaron el bajo rendimiento en G2, G3 y G4 causados por el déficit hídrico.

Según Casa y Reis (2003), el incremento en la densidad de plantas aumenta la susceptibilidad del maíz al acame y quiebra de tallos. Así como también aumenta la incidencia de enfermedades foliares, debido a que con altas densidades plantas hay menos circulación de aire en el interior del dosel, lo que favorece un periodo más prolongado de la deposición de rocío en las hojas.

De los genotipos evaluados el G1 exhibió el mayor rendimiento y también fue el más tolerante al déficit hídrico y a las altas densidades, se puede explicar por las características de la planta principalmente porque presentó una menor asincronía (no mayor a 5 días), esto quiere decir que los estigmas estuvieron expuestos en el momento en que la espiga se encontraba liberando el polen por lo que se aseguró una buena polinización, el llenado de granos y por lo consiguiente se obtuvo un mayor peso de mazorcas, un mayor número de mazorcas por planta y por metro cuadrado, presentó una baja altura de planta comparado con G2, G3 y G4 la cual es un factor importante a considerar. Se puede explicar que una planta de mayor altura tiende a ser más susceptible al acame de raíz o tallo lo que posteriormente afecta a la mazorca.

5.1.6 ¿Cuál es la densidad con el rendimiento más alto en RR?

La magnitud de la respuesta de los genotipos depende del grado de la tolerancia a la limitación hídrica y a la densidad, así el comportamiento del G1, G2, y G3 en cuanto a rendimiento indica que su óptima densidad bajo condiciones de sequía es de 7 plantas/m² (densidad media) excepto por el G4, se puede decir que los

genotipos toleraron el aumento del número de plantas por metro cuadrado junto con la sequía ya que la aparición de la floración masculina y femenina fue similar a la densidad baja (5 plantas/m²) esto quiere decir que no hubo una fuerte competencia entre plantas por luz, agua y nutrientes para llevar a cabo su desarrollo, en comparación con la densidad alta (9 plantas/m²) que mostró un incremento muy marcado con un ASI de entre 7.25 a 12.25 días. La densidad fue un factor importante en el aumento del rendimiento de grano para los genotipos ya que se incrementó el número de mazorcas por metro cuadrado y por lo tanto el peso de la misma también, otro aspecto que le favoreció fue la baja cantidad de mazorcas podridas.

Silva *et al* (2006) mencionan que la densidad de plantas es una de las prácticas culturales que más interfieren en la productividad del cultivo del maíz, ya que pequeñas modificaciones en la densidad puede alterar significativamente el rendimiento de granos. Por su parte Espinosa y Carballo (1986) plantean que la falta de humedad en etapas críticas amplía el periodo de la floración de progenitores de híbridos de maíz, dificultando la producción por el aumento en el intervalo de floración masculina y femenina. Quezada y Muñoz (1986) ante condiciones de sequía, la floración se retrasa, siendo más marcado este retraso en la floración femenina.

Por otra parte para el G4 su densidad óptima es de 9 plantas/m² (densidad alta) se puede decir que este es el segundo genotipo tolerante a las altas densidades con déficit hídrico, aquí presento su máximo rendimiento incluso los días de floración masculina y femenina fue casi similar a la densidad baja, en contraste con la

densidad media el intervalo entre la floración masculina y femenina fue de 9.00 días. De la misma forma la densidad fue un factor muy importante para incrementar el rendimiento de este genotipo ya que el número de mazorca/m² fue mayor, obtuvo mayor cantidad de mazorcas por planta, y un bajo número de mazorcas podridas.

Pexioto (2002) sostiene que la interacción entre la reducción del espaciamiento y el aumento de la población han aumentado la productividad en los híbridos de maíz, en los cuales se han encontrado mayor estabilidad de la producción. La posibilidad de que una mazorca aumente el número de hileras y el número de granos, en poblaciones de mayor número de plantas es extremadamente baja. Por otra parte Schuch (2001) manifiesta que la densidad óptima de plantas a ser utilizada para cualquier especie está determinada tanto por los factores de la propia especie, como por factores del ambiente en el cual se desarrolla el cultivo.

5.1.7 ¿Porque es diferente la mejor densidad entre BR y RR?

El nivel de respuesta al rendimiento de maíz depende de las condiciones en las que se encuentre y la interacción entre ambos en este caso los genotipos sometidos a limitaciones hídricas y el aumento de la densidad de siembra nos presenta una densidad de tipo óptimo diferente a la de los genotipos que no estuvieron expuestas a esta limitación de esta manera los genotipos presentaron su máximo rendimiento en la densidad de 7 plantas/m² se puede explicar que el rendimiento se incrementa con la densidad de población hasta llegar a un punto máximo y disminuye cuando la densidad se incrementa más allá de este punto al

competir las plantas por agua, luz y nutrientes lo que ocasiona un cambio en el comportamiento de la planta como el aumento del ASI, reducciones en el tamaño y número de mazorcas, tamaño y peso de grano entre otras. Así de esta manera se explica el bajo rendimiento de los genotipos presentados en altas densidades de siembra (9 plantas/m²).

Sangoi y Salvador (1998) sostienen que el rendimiento de granos aumenta con el incremento en la densidad de las plantas hasta alcanzar un nivel óptimo, que es determinado por el genotipo y por las condiciones del ambiente y disminuye con posteriores aumentos en la densidad.

El número de plantas por unidad de superficie es un factor fundamental para obtener altos rendimientos. Una población óptima de plantas por hectárea permitirá no solo mejor captación de energía solar, sino también mayor aprovechamiento de la humedad del suelo y los fertilizantes (González, 2002).

El rendimiento de los genotipos presentados en condiciones óptimas difirió en su respuesta a la densidad de población en función del mismo y de las condiciones, por lo tanto el rendimiento de grano aumentó con el incremento en la densidad de plantas (9 plantas/m²) esto quiere decir que los genotipos toleran esta densidad al no estar expuesto a limitaciones hídricas.

VI CONCLUSIÓN

La respuesta positiva del alto rendimiento para el Genotipo 1 tanto en condiciones de sequía y riego óptimo en altas densidades de siembra puede deberse a que proviene de poblaciones seleccionadas en altas densidades y bajo condiciones de sequía, esto explica el bajo rendimiento de los Genotipo 2, 3, y 4 en contraste con el genotipo 1..

Las altas densidades de siembra en condiciones óptimas de riego y sequía afecta el rendimiento de grano, hay competencia entre plantas por los nutrientes y espacio, tienden a ser susceptibles a las enfermedades por la concentración de humedad que se provoca, aumenta el acame porque causan tallos delgados y débiles, y principalmente por el incremento de días en la aparición de la floración masculina y femenina. Los cambios de poblaciones de plantas tienen más efectos bajo condiciones de sequía.

De igual manera una baja densidad de siembra también afecta el rendimiento de grano por la baja capacidad del cultivo para cubrir el suelo (captación de radiación) y por el límite en el tamaño potencial de espiga, que no compensa la disminución en su número.

VII BIBLIOGRAFIA

- Acevedo E., H Silva, P. Silva (1998) Tendencias actuales de la investigación en la resistencia al estrés hídrico de plantas cultivadas, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Boletín Técnico N° 49: 1-28.
- Andrade F. H., C. Vega, S. O. Ihart (1999) Kerner number determination in maize. Crop Science, Madison; 39: 453-459.
- Andrade F. H., S. A. Uhart, M. I. Frugone (1993) Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: shade versus plant density effects. CropSci. 33,482-485.
- Asteinza B. G., F. M. Solis, A. C Espinoza (1990) Efecto de la aplicación de gapol y ethrel en la floración masculina para la producción de semilla del híbrido de maíz H-137. *In: Resúmenes del XIII Congreso Nacional de Filogenética*. SOMEFI, Escuela Superior de Agricultura "Hermanos Escobar" Cd. Juarez, Chih.
- Attipalli RR, Kolluru VC, Munusamy V (2004) Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J. Plant Physiol. 161: 1189-1202.
- Bassetti P., M. E. Westgate (1993) Water deficit affects receptivity of maize silks. Crop Sci 33 279.
- Beltran J., M. Banziger, G. Edmeades, D. Beck. (1995) Relationship between line and topcross performance under drought and non stressed conditions in tropical maize. *In: Agronomy abstract*. ASA, Madison, WI. p. 88.
- Bolaños, J., G. O. Edmeades (1991) Value of selection for osmotic potential in tropical maize. Agronomy Journal. 83:948-956.
- Bolaños J., G. O. Edmeades (1988) The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *In: Agronomy Abstract*. ASA, Anaheim. CA. p. 75.
- Blum A. (1988) Plant Breeding and Yield Stability .Pag.15-43. in Plant Breeding for Stress Environments. 317 P
- Campos H., M. Cooper, G. O. Edmeades, C. Loffler, J. R. Schussler, M. Ibanez (2006) Changes in drought tolerance in maize associated with fifty years of breeding for yield in the U.S. Corn Belt. Maydica. 51:369-381.
- Çakir R. (2004) Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Res. 89: 1-16.

- Casa R. T., E. M. Reis (2003) Doenças na cultura de milho. In: Milho, estratégias de manejo de alta produtividade. Piracicada: ESALQ:USP. 4: 1-8
- Cirilo A. G., F H Andrade (1994) Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Sci.* 34:1039-1043.
- Cunha G. R., R. Bergamishi (1992) "Efeito da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas do milho" In *Agrometeorología aplicada a irrigação*. Porto Alegre: UFRGS- Ed Universitaria. P. 85-97.
- Commuri P. D., R. J. Jones (2001) High temperatures during endosperm cell division in maize. A genotypic comparison under in vitro and field conditions. *Crop Sci* 41: 1122.
- Daynard T., J. F. Muldoon (1983) Plant -to- plant variability of maize plants grown at different densities. *Can. J Plant Sci.* 63: 45-49
- Dreesmann D. C., C. Harn, J. Daie (1994) Expression of genes encoding Rubisco in sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) plants subjected to gradual desiccation. *Plant Cell Physiol.* 35: 645-653.
- Edmeades G.O., T. B. Daynard (1979) The development of plant-to-plant variability in maize at different planting densities. *Can. J. Plant Sci.* 59, 561–576.
- Espinosa C. A., Carballo C. A (1986) Productividad y calidad de semillas en líneas e híbridas de maíz (*Zea mays* L.) para la zona de transición "El Bajío-Valles Altos" de México. *Fitotecnia* 8:35-53.
- Fischer K. S., A. F. Palmer (1984) Tropical maize. In P.R. Goldsworthy & N.M. Fisher, eds. *The physiology of tropical field crops*, p. 213-248. New York, NY, USA, J. Wiley & Sons.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2010) FAOSTAT Crops Statistics. Disponible en: FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2010 | 20 November 2011.
- Gonzalez C. (2002) Comparación de tres densidades de siembra en cuatro híbridos de maíz (*Zea mays* L.) introducidos del Brasil en la zona de Quevedo. Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Estatal de Quevedo, Ecuador. p. 5.
- Hashemi-Dezfouli, A., S. J. Herbert (1992) Intensifying plant density response of corn with artificial shade. *Agronomy Journal.* 84:547-557
- Hallauer A. R., M. J. Carena, J. B. Miranda (2010) *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State University Press. USA. 663 p

- Hochman, Z.V.I. (1982) Effect of water stress with phasic development on yield of wheat grown in a semi-arid environment. *Field Crop Research* 5:55-67.
- Hsiao T. C. (1973) Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*. 24:519-570.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2007) *Climate Change (2007): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC Secretariat, Ginebra, Suiza.
- Karlem D. L., C. R Camp (1985) Row spacing, plant population, and water management effect on corn in the Atlantic Coastal Plain. *Agronomy Journal*. 77:393-398.
- Kiniry J. R., D. P. Knievel (1995) Response of maize seed number to solar radiation intercepted soon after anthesis. *Agron. J.* 87, 228-234.
- Kramer P. J. (1983) "Drought Tolerance and Water Efficiency", en: *Water Relations of Plants*, Nueva York, Academy Press, pp. 390-415.
- Lizaso J., E. Siero, L. Fernandez, C. Gallardo y R. Ramirez (1996) Efectos de la sequía en el maíz. In: G. Mago (de.) *Memorias III Jornada Científica Nacional del Maíz*. 6-9 Noviembre, Guanare, Venezuela. 1996. p. 33-34.
- Maddoni G. A., M. E. Otegui (2004) Intra-specific competition in maize: early-determined hierarchies among plants affect final kernel set. *Field Crops Res.* 85, 1-13.
- McLaughlin J. E., J. S. Boyer (2004) Glucose localization in maize ovaries when kernel number decreases at low water potential and sucrose is fed to the stems. *Ann. Bot.* 94: 75-86.
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M., y D. Lee. (2009) *Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI Washington, D.C. 19p.
- Otegui, M. E., F. H. Andrade, E. E. Suero (1995) Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Res.* 40: 87-94.
- Pagano E., G. A. Maddoni (2007) Intra-specific competition in maize: early established hierarchies differ in plant growth and biomass partitioning to the ear around silking. *Field Crops Res.* 101, 306–320.

- Pérez-Molphe B. E., A. N. Ochoa (1990) "Respuesta de las plantas al déficit hídrico, Ciencia, pp. 333-344.
- Pexioto C. (2002) El maíz el rey de los cereales. SEED NEWS: La revista internacional de semillas. Pelotas, BR. 6(2)p. 14-15.
- Quezada A., A. O. Muñoz (1986) Efecto de la sequía en diferentes estadios de crecimiento en maíz (*Zea mays L.*) H-28. Revista Chapingo. 10 (47-49): 76-80.
- Ruget F. (1989) Relations entre matiere seche a la floraison et rendement en grains chez le maïs: importance du rayonnement disponible par plante. Agronomie. 9:457-465.
- Saini H. S., M. E. Westgate (2000) Reproductive development in grain crops during drought. Adv. Agron. 68: 59-96.
- Sangoi L., R. J. Salvador (1998) Influence of plant height and plant densities. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, Brasilia, 33 (3): 297-306.
- Schussler J. R., M. E. Westgate (1991) Maize kernel set at low water potential. II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. Crop Sci. 31: 1196-1203.
- Scuch L.O (2001) Densidad de plantas. SEED NEWS: La revista internacional de semillas. Pelotas, BR. 5(5)p. 10-12.
- SIAP. (2009) Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012, México, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP-Sagarpa,
- Stone P. J., D. r. Wilson, J. B. Reid, R. N. Gillespie (2001) Water deficit effects on sweet corn. I. Water use, radiation use efficiency, growth, and yield. Aust. J. Agric. Res. 52: 103-113.
- Suzuki K., T. Tsukaguchi, H. Takeda, Y. Egawa (2001) Decrease of pollen stainability of green bean at high temperatures and relationship to heat tolerance. J Am Soc Hort Sci 126 571
- Tethio-Kagho F., F. P. Gardner (1988) Responses of maize to plant population density. I - Canopy development, light relationships, and vegetative growth. Agronomy Journal, v.80, p.935-940.
- Vega C. R., O. R. Valentinuz, S. A. Uhart, F. H. Andrade (1997) Rendimiento en grano por planta y estabilidad del índice de cosecha en función del tamaño de planta en soja, girasol y maíz. Maíz VI Congreso Nacional. AIANBA, Pergamino, Argentina. Tomo II, pp. 20-24.

- Westgate, M.E., M.E. Otegui, and F.H. Andrade. (2004). Physiology of the corn plant in *Corn: Origin, History, Technology, and Production*, C.W. Smith, J. Betran and E.C.A. Runge, (eds.) John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey.
- Westgate, M.E. (1997) Physiology of flowering in maize: identifying avenues to improve kernel set during drought. In G.O. Edmeades, M. Bänziger, H.R. Mickelson y C.B. Peña-Valdivia (eds.), *Developing Drought and Low N-Tolerant Maize. Proceedings of a Symposium, March 25-29, 1996*, CIMMYT, El Batán, México, 136-141. México, D.F.: CIMMYT
- Willey R. W.. S. B. Heath (1969)The quantitative relationships between plant population and crop. *Advances in Agronomy*, 21:281-321.
- Wilhelm E. P., R. E. Mullen, P. L. Keeling, G. W. Singletary (1999) Heat stress during grain filling in maize. Effects on kernel growth and metabolism. *Crop Sci* 39 1733.
- Zhang J., U. Schurr, W. J. Davies (1987) Control of stomatal behaviour by abscisic acid which apparently originates in the roots. *Journal of Experimental Botany* 38:1174-1181.
- Zinselmeier, C, B.-R.Jeong, and J. S. Boyer. (1999) Starch and the control of kernel number in maize at low water potential. *Plant Physiol.* 121: 25-35
- Zinselmeier C., J. R. Schussler, M. E. Westgate, R. J. Jones (1995) Low water potential disrupts carbohydrate metabolism in maize ovaries. *Plant Physiology* 107:385-391.